

PROPUESTA METODOLÓGICA DE CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DETALLADA PARA ESTUDIOS DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Jesús David GÓMEZ DÍAZ¹, Alejandro Ismael MONTERROSO RIVAS¹,
Juan Angel TINOCO RUEDA¹.

¹ *Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.*
dgomez@correo.chapingo.mx, aimrivas@correo.chapingo.mx, tinoco@correo.chapingo.mx

RESUMEN

En las regiones de relieve complejo con escasa información meteorológica se dificulta la aplicación de las diferentes técnicas y modelos de interpolación numéricos para elaborar mapas de variables climáticas confiables. En este trabajo se presenta una propuesta para la estimación de la temperatura y la precipitación media anual y mensuales, tomando elementos de los métodos de interpolación simples complementándolos con análisis estadísticos. El estudio se desarrolló en la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, Morelos, México en donde solo se cuenta con dos estaciones meteorológicas y es una región montañosa y con ambiente variados. Para la determinación de la temperatura se generaron ecuaciones de regresión lineal simple que asocian ésta con la altitud de las estaciones meteorológicas de la región de estudio y aplica estas ecuaciones al modelo de elevación digital del área a través del Sistema de Información Geográfica ArcView v. 3.2. (ESRI, 2004). Los modelos para esta variable presentaron estimadores estadísticos ampliamente satisfactorios.

La estimación de la precipitación se basó en las propuestas del método gráfico analizando los sistemas meteorológicos de vientos que afectan la zona a lo largo del año y la influencia de la orografía en el movimiento de los vientos dominantes. La base para la interpolación fueron analogías que se establecieron entre sitios fuera de la zona de estudio con información meteorológica y las áreas dentro de la zona de estudio que no contaban con esta información. Con las variables climáticas estimadas se determinaron los tipos climáticos de la zona de estudio aplicando los sistemas de clasificación climática de Köppen modificada por García (2004) y se hizo un comparativo con los mapas climáticos reportados por CONABIO (1998).

A cada una de las áreas de influencia climática se les aplicó los incrementos de temperatura y razones de cambio de precipitación de las salidas interpoladas de los Modelos de Circulación Atmosférica General (MCGs) del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R30) y la del Canadian Climate Centre (CCC), para una condición de duplicación de CO₂, ambos usados en el marco del Programa Estudio de País (Magaña *et al.*, 1997).

Esta técnica tiene gran potencial para ser aplicada en la generación de mapas detallados de temperatura y precipitación media mensual y anual a nivel local y regional de zonas con escasa información meteorológica y relieve complejo.

Palabras clave: Caracterización climática, cambio climático, Sierra de Huautla, áreas de influencia climática.

ABSTRACT

In regions of complex relief and scarce meteorological information it becomes difficult to implement techniques and models of numerical interpolation to elaborate reliable maps of climatic variables. This paper presents a method for estimating annual and monthly mean values of temperature and precipitation, taking elements from simple interpolation methods and complementing them with some characteristics of more sophisticated methods. The study was conducted in the "Sierra de Huautla" Biosphere Reserve, Morelos, México, this region is characterized by its complex terrain, in which there are only two weather stations. To determine temperature, simple linear regression equations were generated, associating this with altitude of the weather stations in the region of study. These equations were applied to the digital elevation model of the area with the Geographic Information System ArcView v. 3.2 (ESRI, 2004). The models for this variable had highly satisfactory statistical estimators.

Estimation of precipitation was based on proposals of the graphic method, analyzing the meteorological systems of winds that affect the region throughout the year and the influence of orography on the movement of dominant winds. Interpolation was based on analogies that were established between sites outside the study region with meteorological information and areas within the study region that lacked this information. With the estimated climate variables, climate types in the study region were determined by applying the Köppen climate classification system, modified by García (2004) and the determined climate types were compared with the climate maps reported by CONABIO (1998). To each of the areas of climatic influence, we applied temperature increments and change rates of precipitation of the output interpolated with the General Model of Atmospheric Circulation of the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R30) and with the Canadian Climate Center model, for a condition of CO₂ duplication, both used in the framework of the Country Studies Program (Magaña *et al.*, 1997).

This technique has enormous potential for generating detailed local and regional maps of mean monthly and annual temperature and precipitation where meteorological information is scarce and the terrain is complex.

Key words: Climatic characterization, climatic change, Sierra de Huautla, areas of climatic influence.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de métodos para interpolar datos climáticos de redes de estaciones poco densas, ha sido objeto de varias investigaciones (Hutchinson and Bischof, 1983; Dingman *et al.*, 1988; Phillips *et al.*, 1992; Daly *et al.*, 1994; Nalder and Wein, 1998; Price *et al.*, 2000). Los procedimientos de interpolación deben incorporar el efecto de los procesos físicos que determinan la distribución espacial del clima.

En general, los patrones de temperatura en la superficie terrestre son determinados por la combinación de ciertos factores geográficos en los que se incluyen: la latitud, altitud, los patrones de circulación atmosférica, condiciones locales, continentalidad y las características de las corrientes oceánicas (Aguado y Burton, 2001). Para estimaciones espaciales de la temperatura en ambientes montañosos, Lookinbill y Urban (2003) consideraron una serie de modelos de regresión, que comienzan con el modelo simple de elevación e incorpora posteriormente modelos más complejos en los que incluyen la radiación relativa y la orientación de la pendiente.

La precipitación muestra una gran variación espacial, la cual es consecuencia de las diferencias en el tipo y escala de los procesos que producen el desarrollo de nubes y la precipitación (Sumner, 1988). La variación espacial de la precipitación se ve fuertemente influenciada por factores locales o regionales, como la topografía y la dirección dominante de los vientos con humedad (Phillips *et al.*, 1992). Los métodos para estimar la precipitación caen dentro de tres grupos principales: gráficos, topográfico y numéricos (Daly *et al.*, 1994). Los métodos gráficos consisten en el trazo de mapas de precipitación, algunas veces en combinación con análisis de precipitación y elevación e incluyen el mapeo de isoyetas (Reed y Kincer, 1917; Peck y Brown 1962) y la estimación de los polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911). Los métodos topográficos involucran la correlación de datos puntuales de precipitación con parámetros topográficos y sinópticos como la pendiente, exposición, elevación, localización de barreras montañosas, y la dirección y velocidad del viento (Spreen, 1947; Burns, 1953; Schermerhorn, 1967; Houghton, 1979). Los métodos numéricos han sido los usados más comúnmente en el análisis de la distribución de la precipitación, en las últimas décadas. Se le ha dado atención particular al desarrollo de métodos estadísticos complejos, los cuales, dados ciertos supuestos generan criterios explícitos óptimos y garantizan predicciones imparciales. La utilización de los métodos numéricos en México no es fácil, porque el país se caracteriza por su relieve complejo y la escasez de estaciones meteorológicas, particularmente en las regiones montañosas. El procedimiento exige contar con puntos de observación en el terreno como elementos para establecer las relaciones y lograr un margen aceptable de confiabilidad. En condiciones como las descritas, esto es, en las regiones con escasa información meteorológica, es preferible usar métodos simples, aunque los numéricos pueden ser marginalmente más acertados pero su implementación requiere considerablemente de más tiempo y dinero (Price *et al.*, 2000).

Los MCG son la herramienta más útil de que se dispone en la actualidad para modelar el clima y el cambio climático (Houghton *et al.*, 1992). En los MCG se hacen estimaciones comparando las condiciones climáticas existentes, las que son establecidas utilizando datos climatológicos de estaciones o las condiciones producidas por procedimientos control en los mismos modelos (predicción del clima actual), con las condiciones climáticas futuras predichas por el MCG. Actualmente la estimación de la mayoría de los impactos del cambio climático están basados en escenarios de los MCGs (IPCC, 1996).

Con base en lo anterior, los objetivos específicos del presente estudio fueron tres: (a) Desarrollar metodologías simples para la estimación de la temperatura y precipitación media mensual y anual en áreas con escasa información meteorológica y relieve complejo. (b) Comparar entre si los mapas de variables meteorológicas generadas y la distribución de los tipos climáticos estimados asociados con estas variables y los reportados por las instituciones oficiales. (c) Generar los escenarios climatológicos ante el cambio climático con dos modelos de circulación atmosférica general ampliamente usados en la República Mexicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevo a cabo en la Reserva de la Biosfera (R.B.) “Sierra de Huautla”, Morelos. Para este estudio, se emplearon los datos de 21 estaciones meteorológicas obtenidos del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) versión 2 (IMTA, 2000). Como en la Reserva sólo dos localidades cuentan con datos meteorológicos, se amplió la cobertura

geográfica de selección de estaciones para tener información de las distintas condiciones climáticas de la zona de estudio (Figura 1). Con esta ampliación se incluyeron en total 26 estaciones meteorológicas, pero se eliminaron cinco por contar con información de menos de 15 años.

2.1. Estimación espacial de la temperatura

El procedimiento detallado fue el siguiente:

Para estimar la temperatura en áreas caracterizadas por zonas montañosas, se usó el método simple o empírico (Ortiz-Solorio, 1987) que consiste en el cálculo de los rangos de variación de la temperatura con la altura para cada mes y el valor anual, obteniendo ecuaciones de regresión simple entre estas dos variables. Para determinar si cada ecuación es adecuada se estimaron los valores del coeficiente de determinación (R^2) y la probabilidad de distribución de F.

Cada modelo mensual de regresión lineal simple y el anual se aplicó al área de estudio, obteniéndose 12 mapas de isotermas mensuales y uno anual. Los mapas se construyeron mediante el Sistema de Información Geográfico ArcView v. 3.2. (ESRI, 2004) usando el mapa topográfico digital y el modelo de elevación digital del sitio.

2.2. Elaboración de mapas de precipitación

En un mapa con el modelo de elevación digital se ubican todas las estaciones meteorológicas, reportando el valor de precipitación media anual. Para cada estación meteorológica se reporta la cantidad de precipitación media anual y se detalla su distribución anual para analizar con que sistemas meteorológicos a lo largo del año se asocian las diferentes cantidades de precipitación. Una vez determinados los fenómenos meteorológicos responsables de la precipitación, se analizó la cantidad de precipitación en cada estación para identificar el impacto de los factores modificadores del clima que en este caso en particular fueron los sistemas montañosos y su influencia en el flujo de los vientos con humedad. Los valores de precipitación media anual de cada estación se ubicaron en su posición geográfica en una imagen de satélite de falso color superpuesta sobre un modelo de elevación digital para establecer relaciones entre la cantidad de precipitación, la posición en el paisaje y el color asociado con la vegetación reportado en la imagen de satélite, tomando en cuenta la dirección de los vientos dominantes con humedad y las áreas en las que puedan dejar más precipitación. Establecer analogías entre los sitios con información meteorológica y algunas zonas dentro del área de estudio que tengan situaciones similares en cuanto a los factores que modifican la distribución de la precipitación.

Por medio de estas analogías se asignaron valores tentativos de precipitación media anual a sitios dentro del área de estudio con condiciones similares de forma del terreno, desde su magnitud, orientación y posición en el paisaje con respecto a la dirección de los vientos húmedos prevaletentes.

2.3. Elaboración de mapas climáticos con escenarios actuales y ante el cambio climático

Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcView v. 3.2. (ESRI, 2004) se superpusieron las isotermas e isoyetas anuales estimadas. A cada una de las áreas resultantes con un determinado rango de precipitación y temperatura media anual se les estimaron los valores mensuales de estos parámetros. Para los valores de temperatura media de cada mes en las áreas de influencia climática se aplicaron los diferentes modelos de regresión lineal específicos de acuerdo a los rangos altitudinales de dichas áreas tomando la cota media como parámetro a

sustituir en el modelo que relaciona la altitud con la temperatura. Para los valores de precipitación media mensual se asignaron los valores estimados para cada mes de acuerdo al rango de precipitación media a anual.

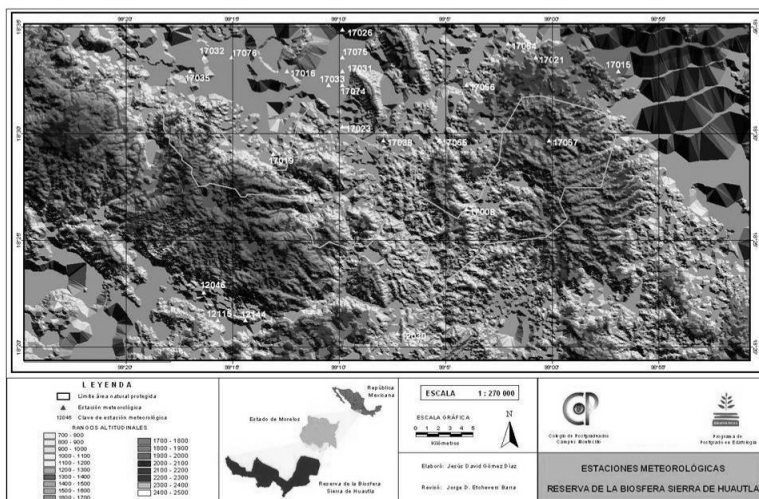


Fig. 1: Distribución de las estaciones meteorológicas sobre el modelo de elevación digital de la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, Morelos, y área ampliada

A la base de datos de temperatura y precipitación media mensual de cada área de influencia climática generado se les aplicaron las salidas interpoladas de los MCG empleados, el GFDL-R30 y el CCCM (Magaña *et al.*, 2000). Los incrementos de temperatura y razones de cambio en la precipitación fueron los reportados por Magaña *et al.*, (2000) correspondientes a la región climática delimitada por Douglas (2001) donde se ubica la zona de estudio que correspondió a la región 13. Los escenarios de cambio climático fueron para la condición de duplicación en la concentración de CO₂ atmosférico. Con las bases de datos generadas para cada área de influencia climática se realizó la clasificación climática mediante el programa MODIFICA (García, 2004) que automáticamente clasifica el clima. Finalmente se obtuvieron tres escenarios de clima para cada área de influencia climática, el escenario actual y los escenarios de cambio climático determinados por los MCG, el GFDL-R30 y el CCCM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Mapas de Isotermas

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los modelos mensuales de regresión lineal simple y el anual de temperatura con los diagnósticos estadísticos para la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, Morelos.

La diferencia en los gradientes altotérmicos en los meses es notoria, con valores mayores en los meses cálidos (abril a septiembre) (5.1 a 5.8 °C/1000 m) y ligeramente superiores en los meses

de mayo y junio ($5.8\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$), que corresponden a los meses con temperaturas más altas. Esta condición puede atribuirse a la mayor radiación que recibe la superficie del terreno en ese periodo del año y parte de esta energía es transferida al aire por conducción, el cual asciende por convección y se enfría en el ascenso, principalmente a rango adiabático seco, lo que provoca un rango mayor en la variación de la temperatura al cambiar la altura (Aguado y Burton, 2001). De noviembre a marzo la diferencia en el gradiente altitudinal de la temperatura es menor ($3.7\text{ a }5.1\text{ }^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$), siendo enero el que presenta el valor más bajo. Esto se explica por la disminución en la energía recibida en la mitad fría del año (octubre a marzo), con una menor actividad conectiva y adicionalmente se puede tener un descenso del aire frío de las laderas de las montañas hacia los valles, lo que reduce la variación de la temperatura con la altitud (Ahrens, 2003).

Mes	Modelos	R ²	F (calc.)	Mes	Modelos	R ²	F (calc.)
E	$T = 25.256 - 0.0037h^*$	0.66	21.13	Ag	$T = 30.528 - 0.0056h$	0.87	145.84
F	$T = 27.274 - 0.0042h$	0.72	51.40	S	$T = 30.275 - 0.0056h$	0.89	160.27
M	$T = 29.338 - 0.0042h$	0.68	49.98	O	$T = 29.211 - 0.0051h$	0.86	122.64
A	$T = 32.261 - 0.0051h$	0.80	87.03	N	$T = 27.043 - 0.0042h$	0.75	62.71
My	$T = 33.608 - 0.0058h$	0.85	118.02	D	$T = 25.783 - 0.0040h$	0.69	47.98
J	$T = 32.048 - 0.0058h$	0.85	145.15	Anual	$T = 29.466 - 0.0049h$	0.86	130.38
Jl	$T = 30.608 - 0.0055h$	0.88	156.90				

* T = Temperatura media; h = Altitud

Tabla 4: MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y ANUAL PARA LA RESERVA DE LA BIOSFERA “SIERRA DE HUAUTLA”, MORELOS, MÉXICO.

En la Figura 2 se muestra el mapa de la temperatura media anual. El detalle de las áreas delimitadas con los diferentes valores de temperatura es notorio, partiendo que la base es el modelo de elevación digital de la zona de estudio.

3.2. Mapas de Isoyetas

En la Figura 3 que muestra la precipitación media anual. Se distingue la influencia de los vientos húmedos del Pacífico en los valores de precipitación, particularmente en el flanco occidental de la sierra, lo que se asocia con las ondas del este y la dirección del viento dominante en estos sistemas, que va de suroeste a noreste y esta porción de la Sierra, por su posición, intercepta la humedad asociada con dichos vientos (Vidal, 2005).

3.3. Clasificación climática con el sistema de clasificación de Köppen modificado por García

La sobreposición de los mapas de isotermas e isoyetas anuales produjo 21 áreas de influencia climática. En la Tabla 2 se presentan la superficie ocupada por los tipos climáticos determinados con la delimitación de las variables climáticas por el procedimiento propuesto y los reportados por CONABIO (1998).

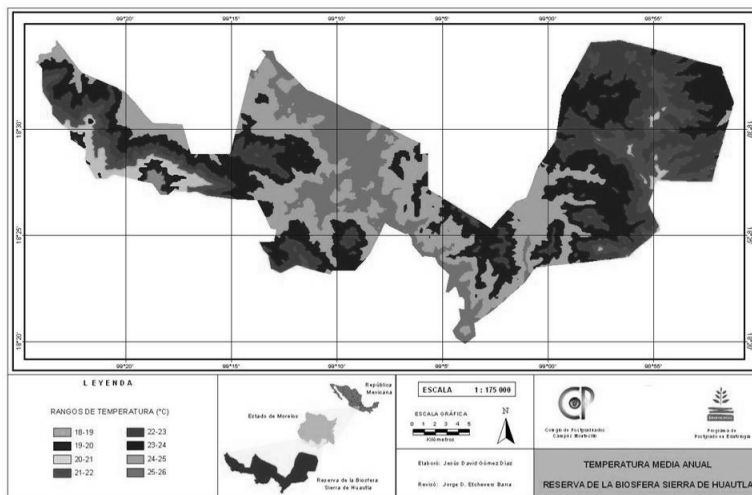


Fig. 2: Mapa de Temperatura media anual de la R. B. “Sierra de Huautla”, Morelos, México

Con las variables estimadas aumenta el detalle de la delimitación climática, teniéndose cinco tipos de clima, partiendo del Semiárido cálido ($BS_1(h')w(w)$), que es el característico de las zonas más bajas del área centro norte y representa el 4.4% del total de la superficie de la Reserva. El clima Cálido del más seco de los subhúmedos ($Aw_0(w)$) es el que caracteriza, al igual que en lo reportado en CONABIO (1998), a la mayor parte de la superficie y representa el 72.1 de la Reserva.

Conforme aumenta la altura sobre las laderas de los macizos montañosos, los tipos de clima son más húmedos y paulatinamente más frescos, cambiando inicialmente a un Cálido pero de la variante normal de los subhúmedos ($Aw_1(w)$), este tipo de clima representa el 10.9% del total de la superficie. A mayor altura la temperatura es menor y el clima se clasifica como Semicálido del grupo de los cálidos del tipo normal de los subhúmedos ($A(C)w_1(w)$), el área con este clima representa el 8.4%.

En la Tabla 3 se muestra la superficie de distribución de cada tipo climático. Con estas consideraciones los tipos climáticos con los escenarios de duplicación de CO_2 del Modelo CCCM tienden a la dominancia de climas secos, donde los del tipo Árido y cálidos ($BS_0(h')w(w)$) representarían el 4.4% y los Semiáridos cálidos ($BS_1(h')w(w)$) el 72.4%. El clima Cálido del más seco de los subhúmedos ($Aw_0(w)$) se tendría el 19.6% y una pequeña porción (2.2%) del Cálido del normal de los subhúmedos ($Aw_1(w)$). Solo la parte más alta de los cerros suroccidentales (1.2%) tendrían un clima Semicálido del grupo de los cálidos y del normal de los subhúmedos ($A(C)w_1(w)$).

Los escenarios climatológicos ante el cambio climático estimados con el modelo GFDL-R30, muestran climas, en general, más húmedos, por lo que desaparecen los Semiáridos y la porción más seca tendría clima Cálido del más seco de los subhúmedos ($Aw_0(w)$) que representarían el 23.6%, seguidos de los Cálidos del normal de los subhúmedos ($Aw_1(w)$) con un 72.1%.

Las áreas altas de las montañas del suroeste de la Reserva y algunos picos altos de la zona oriente tendrían climas del tipo Cálido pero de la variante más húmeda de los subhúmedos

(Aw₂(w)) y una pequeña porción caracterizada como Semicálido del grupo de los cálidos de los más húmedos de los subhúmedos (A(C)w₂(w)).

Tipos climáticos	Delimitación de variables climáticas por procedimiento propuesto		Reportado por CONABIO (1998)	
	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%
BS ₁ (h')w(w)(i')g	2,619	4.4		
Aw ₀ (w)(i')g	42,580	72.1	55,010	93.2
Aw ₁ (w)(i')gw"	6,459	10.9	175	0.3
A(C)w ₁ (w)(i')gw"	4,977	8.4	3,838	6.5
(A)Ca(w ₂)(w)igw"	2,387	4.1		

Tabla 5: TIPOS CLIMÁTICOS DE LA R. B. “SIERRA DE HUAUTLA” DE ACUERDO AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN MODIFICADO POR E. GARCÍA

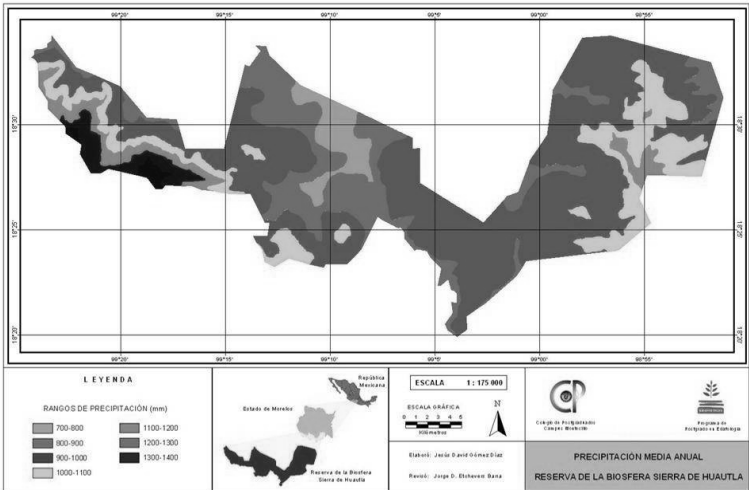


Fig. 3: Mapa de precipitación media anual de la R. B. “Sierra de Huautla”, Morelos, México.

CONCLUSIONES

En el caso de la temperatura, los modelos estimados con la aplicación del método simple, previa subdivisión de la zona por condiciones de humedad, presentan estimadores estadísticos ampliamente satisfactorios, por lo que esta consideración se cumple cabalmente. El procedimiento de estimación de la precipitación, aunque basado en el método gráfico, permite generar mapas detallados de esta variable considerando el análisis de una persona con conocimientos de la circulación local de la atmósfera en la región a lo largo del año, así como el efecto de la orografía en los procesos que producen la precipitación, siendo útil las analogías que se establecen de la información reportada por las estaciones meteorológicas y las

condiciones específicas de ubicación de éstas y la reflectancia de la vegetación mostrada por las diferencias en los colores en las imágenes de satélite de falso color (espaciomapas). Esta técnica tiene gran potencial para ser aplicada en la generación de mapas detallados de temperatura y precipitación media mensual y anual a nivel local y regional de zonas con escasa información meteorológica y relieve complejo.

Tipos climáticos	Modelo GFDL-R30		Modelo CCCM	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
BS ₀ (h')w(w)(e)			2 615	4.4
BS ₁ (h')w(w)(i')			4 2768	72.4
Aw ₀ (w)(i')g	13 908	23.6	11 593	19.6
Aw ₁ (w)(i')gw"	42 555	72.1	1 304	2.2
Aw ₂ (w)(i')gw"	2 106	3.6		
A(C)w ₁ (w)(i')gw"			742	1.2
A(C)w ₂ (w)igw"	453	0.8		

Tabla 6: TIPOS CLIMÁTICOS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA R. B. "SIERRA DE HUAUTLA" DE ACUERDO AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN MODIFICADO POR E. GARCÍA

LITERATURA CITADA

- AHRENS, C.D. (2003). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. 7th ed. Brooks Cole. Pacific Grove, CA: USA.
- AGUADO, E. y BURT, J.E. (2001). *Understanding weather and climate*. 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- BURNS, J.I. (1953). "Small-scale topographic effects on precipitation distribution in San Dimas Experimental Forest". *Trans. Am. Geophys. Union.*, 34: 761-768.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad). 1998. *Carta de Climas de la República mexicana*. México.
- DALY, C.; NIELSON, R.P. y Phillips, D.L. (1994). "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain". *J.Appl.Meteorol.* 33:140-158
- DINGMAN, S.L.; SEELY-REYNOLDS, D.M. y Reynolds III, R.C. (1988). "Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence". *Water Resources Bull.* 24 (2): 329-339.
- DOUGLAS, A. (2001). *Douglas Mexican temperature, precipitation and drought data base documentation*. Department of Atmospheric Science. Creighton University, Omaha, NE.
- ESRI, 2004. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands. CA. 92373 USA.
- GARCÍA, E. (2004). *Modificaciones al sistema climático de Köppen para la República Mexicana*. 5ta Edición. Instituto de Geografía, Serie de libros N° 6. UNAM, México.

- HOUGHTON, J.G. (1979). "A model for orographic precipitation in the North-Central Great Basin". *Mon. Wea. Rev.*, 107: 1462-1475.
- HOUGHTON J.T.; JENKINS, G.J. y EPHRAUMS, J.J. (1992). *Climate Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- HUTCHINSON, M.F. y BISCHOF, R.J. (1983). "A new method of estimating mean seasonal and annual rainfall for the Hunter Valley". *Aust.Meteorol.Mag.* 31:179-184.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2000). Extractor Rápido de Información Climatológica. ERIC CD-ROM. Cuernavaca, Mor. México.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LOOKINGBILL, T.R. y URBAN, D.L. (2003). "Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in mountain environments". *Agr. For. Meteorol.* 114: 141-151.
- MAGAÑA, V.; CONDE, C.; SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (1997). "Assessment of current and future regional climate scenarios for México". *Climate Research*, Vol. 9, Nums 1 y 2.
- MAGAÑA, V.; CONDE, C.; SÁNCHEZ, O. y GAY, C. (2000). *Evaluación de escenarios regionales de clima actual y cambio climático futuro para México*. En: Gay, C. (ed). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente. México.
- NALDER, I.A. y WEIN, R.W. (1998). "Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest". *Agr. For. Meteorol.* 9: 211-225
- ORTIZ, C.A. (1987). *Elementos de agroclimatología cuantitativa: con aplicaciones en la república mexicana*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- PECK, E.L. (1962). "An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas". *J. Geophys. Res.* 67(2): 681-694.
- PHILLIPS, D.L.; DOLPH, J. y MARKS, D. (1992). "A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain". *Agric.For Meteorol.* 58: 119-141.
- PRICE D.T.; MCKENNEY, D.W.; NALDER, I.A.; HUTCHINSON, M.F. y KESTEVEN, J.L. (2000). "A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly climate data". *Agr. For. Meteorol.* 101: 81-94.
- REED, W.G. y KINCER, J.B. (1917). "The preparation of precipitation charts". *Mon. Wea. Rev.* 45: 233-235.
- SCHERMERHORN, V.P. (1967). "Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington". *Water Resourc. Res.* 3: 707-711.
- SUMNER, G. (1988). *Precipitation, process and analysis*. John Wiley & Sons Ltd. U.K.
- THIESSEN, A.H. (1911). "Precipitation averages for large areas". *Mon. Wea. Rev.* 39:1082-1084.
- VIDAL, R. (2005). *Las Regiones Climáticas de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México.